

pGAPS 気球実験における姿勢制御システムの概要と実験結果

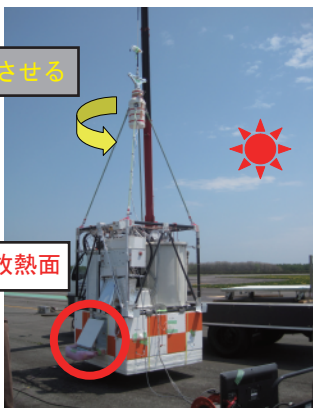
坂東信尚, 福家英之, 莊司泰弘 (ISAS/JAXA), P.v. Doetinchem(UCB),
I. Mognet(UCLA), C.J. Hailey(Columbia Univ.), 中村 史彦 (東海大)

★pGAPS 方向制御の目的

ゴンドラの放熱面を太陽逆方向に向け続けること

モータでゴンドラを回転させる

OHP(Oscillating Heat Pipe) の放熱面

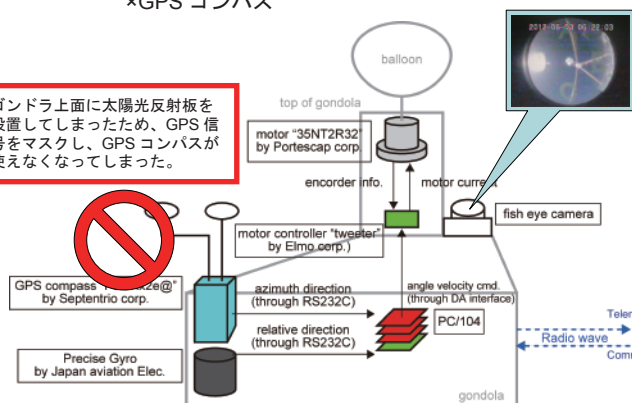


北海道大樹航空宇宙実験場で End-to-End 試験をしている pGAPS ゴンドラ

★pGAPS 方向制御の構成

姿勢制御系: 直流モータによるゴンドラ角度制御
(モータのマイナーループは角速度制御)
姿勢決定系: FOG(Fiber Optical Gyro)
魚眼レンズをつけたビデオカメラによる太陽撮像
×GPS コンパス

ゴンドラ上面に太陽光反射板を設置してしまったため、GPS 信号をマスクし、GPS コンパスが使えなくなりました。



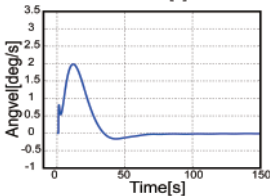
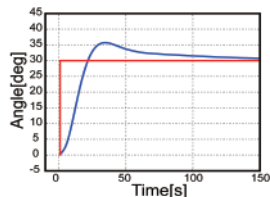
pGAPS 方向制御システムの構成図

★シミュレーションによる検証

地上試験で得られたねじれトルク係数を用いて、シミュレーションによりフィードバック制御器の設計 / 検証を行った。飛翔時にはノミナル値として設定したねじれトルク係数に対して、10 倍程度ねじれトルク係数が変化してもフィードバック制御が破綻しないように幾つかの制御器を OBC に搭載し、ロバスト性を重視した制御系設計を行った。

地上試験で得られた荷姿のねじれトルク係数

	回転周期	ねじれトルク係数
ラダー (22m)	22 ~ 25(s)	6.1 ~ 7.9(Nm/rad)
ラダー (4m)	15 ~ 16(s)	15 ~ 17(Nm/rad)
パラシュート (28m)	32 ~ 35(s)	3.1 ~ 3.7(Nm/rad)
ケブラーロープ (1.5m)	80 ~ 90(s)	0.47 ~ 0.60(Nm/rad)
ラダー (4m) + パラシュート + ケブラーロープ	45 ~ 70(s)	0.78 ~ 1.90(Nm/rad)
ラダー (22m) + パラシュート + ケブラーロープ		ノミナル値を k=0.6 程度に設定



シミュレーション結果 (ステップ応答)
上段: 角度応答 下段: 角速度応答

MATLAB/Simulink で作成したシミュレーションモデル

★補足

GAPS 実験:
General Anti-Particle Spectrometer
= 宇宙線反粒子、特に宇宙線反重陽子を探索する実験

pGAPS (prototype GAPS) 実験:
= 下記実験の技術実証のために 2012 年に大樹航空宇宙実験場で行った気球実験

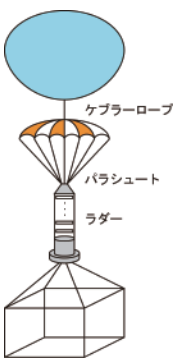
GAPS 実験では、2015 ~ 2019 年に南極周回気球によって、長時間観測を計画している
@南極マクマード基地 (NASA の大気球を使用予定)

★条件など

- ・制御用に用いるモータは一つだけであり、ゴンドラに RW などを搭載しない
- ・ゴンドラの方角制御精度は $\pm 5[\text{deg}]$ 程度

★地上での試験 (ゴンドラ荷姿のねじれトルク係数の計測・推定)

制御に用いるモータが一つだけなので、ゴンドラ姿勢制御に吊り紐の影響が強く出る。
⇒地上で吊り紐のねじれトルク係数の計測・推定を行った。



ゴンドラの吊り紐の構成

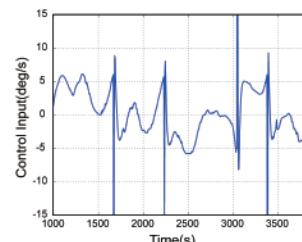
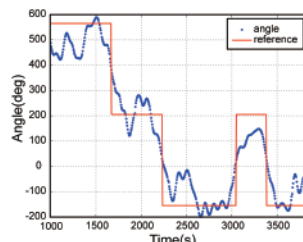


フライトで用いるパラシュートにゴンドラを吊り下げ、吊り下げ軸周りに回転させることにより、パラシュートのねじれトルク係数を推定する。(他の要素も同様に行う)

★pGAPS 飛翔実験における方向制御の実験結果

★レベルフライト前の方向制御試験結果 (左: 角度応答 右: 制御入力)

角度誤差量によって制御入力に変化し、フィードバック制御が上手く働いているように見えるが、気球上昇中のため外乱が大きく、指令値に完全に収束していない。



★レベルフライト中の方向制御結果

フィードバック制御を働かせた後も角度が変わっていないように見えたため、マニュアル操作でモータを動かすこととなったが (9800[s] 以降)、地上からのオペレーションによりギアが壊れてしまい (急激な加速減速によりギアに過負荷を与えてしまった)、10300[s] 以降は方向制御不能となってしまった。

